

**Two-stage reformer for steam reforming of methanol**

**Patent number:** DE19713242  
**Publication date:** 1998-10-01  
**Inventor:** AUTENRIETH RAINER DIPL ING (DE)  
**Applicant:** DBB FUEL CELL ENGINES GMBH (DE)  
**Classification:**  
- international: C01B3/32; B01J8/02  
- european: B01J8/02H; B01J8/06H; C01B3/32B; H01M8/06B2C  
**Application number:** DE19971013242 19970329  
**Priority number(s):** DE19971013242 19970329

Also published as:

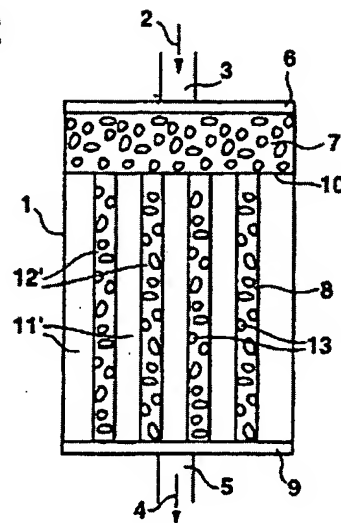
EP0867962 (A)  
EP0867962 (B)

Report a data error here

Abstract not available for DE19713242

Abstract of corresponding document: EP0867962

A reactor for the water vapour reforming of methanol operates in two stages (7, 8) accommodated within a single reactor housing (1). The 1st stage (7) is on the gas inlet (3) side and the 2nd stage (8) is directly connected to it. Both stages are filled with catalyst (13). One of the stages is heated and the other remains unheated.

**Fig. 2**

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 197 13 242 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>  
**C 01 B 3/32**  
B 01 J 8/02

②① Aktenzeichen: 197 13 242.1  
②② Anmeldetag: 29. 3. 97  
④③ Offenlegungstag: 1. 10. 98

DE 197 13 242 A 1

⑦① Anmelder:  
DBB Fuel Cell Engines GmbH, 73230 Kirchheim, DE

⑦② Erfinder:  
Autenrieth, Rainer, Dipl.-Ing., 89155 Erbach, DE

⑤⑤ Entgegenhaltungen:

DE 1 95 26 886 C1  
DE 25 13 405 A1  
AT 3 79 760  
US 42 56 783  
US 31 47 084  
EP 07 43 694 A1  
EP 03 83 224 A2

Patents Abstracts of Japan. C-589, 1989, Vol.13,  
No.174. JP 1-5901 A;  
Patents Abstracts of Japan. C-580, 1989, Vol.13,  
No.124, JP 63-295403 A;  
Patents Abstracts of Japan. C-343, 1986, Vol.10,  
No.120. JP 60-246202;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Reformierungsreaktor zur Wasserdampfpreformierung von Methanol

⑤⑦ Die Erfindung bezieht sich auf einen Reformierungsreaktor zur Wasserdampfpreformierung von Methanol, wie er beispielsweise zur Erzeugung von Wasserstoff für die Brennstoffzellen eines Elektrofahrzeuges eingesetzt wird. Erfindungsgemäß ist der Reaktor zweistufig mit einer ersten Reaktorstufe und einer an diese in Gasströmungsrichtung direkt anschließenden zweiten Reaktorstufe ausgelegt, wobei die beiden Reaktorstufen in einem gemeinsamen Reaktorgehäuse untergebracht und mit einer durchgehenden Katalysatorschüttung befüllt sind und eine der beiden Reaktorstufen beheizt wird, während die andere Reaktorstufe unbeheizt bleibt.  
Verwendung z. B. zur Erzeugung von Wasserstoff in brennstoffzellenbetriebenen Kraftfahrzeugen.

DE 197 13 242 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf einen Reformierungsreaktor zur Wasserdampfpreformierung von Methanol, der sich insbesondere auch für mobile Anwendungen eignet, speziell zur Bereitstellung von Wasserstoff für die Brennstoffzellen eines Brennstoffzellenbetriebenen Kraftfahrzeuges

Es sind bereits zahlreiche verschiedene Typen von ein- und mehrstufigen Reformierungsreaktoren zur Wasserdampfpreformierung von Methanol vorgeschlagen worden. So ist in der Patentschrift US 5.401.589 ein dreistufiger Reaktor offenbart, bei dem ein mit einer durchgehenden Katalysatorschüttung gefüllter Reaktionsraum vorgesehen ist, der in drei untereinanderliegende Reaktorstufen unterteilt ist, die auf unterschiedlichen Temperaturen gehalten werden, und zwar die eintrittsseitige, obere Stufe auf ca. 300°C, die mittlere Stufe auf ca. 275°C und die ausgangsseitige, untere Stufe auf ca. 125°C.

Bei einem in der Offenlegungsschrift JP 63-295403 (A) offenbarten Reaktor wird das zu reformierende Gasgemisch in einen Gaseinlaßraum eines Reaktorgehäuses eingeleitet, von wo es einer ersten, unbeheizten Reaktorstufe mit eigener Katalysatorschüttung zugeführt wird, die von einer gasdurchlässigen Platte getragen wird und das gesamte Volumen dieser Stufe ausfüllt. In dieser Stufe findet eine partielle Reformierung mittels einer adiabatischen Reaktion statt. An die erste Stufe schließt sich im Reaktorgehäuse nach unten unter Belassung eines gewissen Zwischenraums eine zweite Stufe an, die beheizt wird und zu diesem Zweck als Wärmeübertragerstruktur mit beheizten Reaktionskanälen ausgelegt ist, die mit einer von derjenigen der ersten Stufe getrennten Katalysatorschüttung befüllt sind. In dieser Stufe findet eine isotherme Reformierungsreaktion statt. An die zweite Stufe schließt sich nach unten ein Gasauslaßraum an, der mit Katalysatormaterial befüllt ist, welches mit demjenigen der zweiten Stufe eine durchgehende Katalysatorschüttung bildet.

Aus den Offenlegungsschriften JP 60-246202 (A) und JP 1-5901 (A) sind zweistufige Reaktoren bekannt, bei denen die beiden Reaktorstufen in einem gemeinsamen Reaktorgehäuse untereinander angeordnet sind und mit einer durchgehenden Katalysatorschüttung befüllt sein können. Bei diesen bekannten Reaktoren werden beide Stufen beheizt und sind zu diesem Zweck als Wärmeübertragerstruktur aufgebaut und an einen jeweiligen Heizkreislauf angeschlossen.

Bei einem weiteren bekannten Typ eines zweistufigen Reaktors zur Wasserdampfpreformierung von Methanol sind die beiden Stufen in je einem eigenen Gehäuse untergebracht, wobei dazwischen eine Kühleinrichtung vorgesehen sein kann, wie in der Patentschrift US 5.221.524 beschrieben.

Der Erfindung liegt als technisches Problem die Bereitstellung eines Reformierungsreaktors zur Wasserdampfpreformierung von Methanol zugrunde, der vergleichsweise einfach aufgebaut ist und sich speziell auch für mobile Anwendungen und die dort häufig auftretenden Lastschwankungen eignet.

Die Erfindung löst dieses Problem durch die Bereitstellung eines Reformierungsreaktors mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Der Reaktor ist zweistufig ausgelegt, wobei die beiden Reaktorstufen in einem gemeinsamen Reaktorgehäuse angeordnet und mit einer durchgehenden Katalysatorschüttung befüllt sind. Charakteristischweise wird nur eine der beiden Reaktorstufen beheizt, während die andere unbeheizt bleibt. Es zeigt sich, daß durch einen solchen Reaktoraufbau die Anforderungen beim mobilen Einsatz, wie geringer Konstruktionsaufwand, kompakter Aufbau und zuverlässiger Reformierungsbetrieb auch bei merklichen Lastschwankungen, in zufriedenstellender Weise erfüllt werden.

Dabei bleibt der Realisierungsaufwand geringer als für dreistufige Reaktoren oder zweistufige Reaktoren mit Beheizung beider Stufen.

Bei einem nach Anspruch 2 weitergebildeten Reaktor bleibt die erste Stufe unbeheizt und dient dadurch als Vorreformierungsstufe, in welcher der durchgeführte Gasstrom partiell reformiert wird, während die zweite Stufe einen Wärmeübertrageraufbau besitzt und beheizt wird, um die Reformierungsreaktion für das partiell reformierte Gas aus der ersten Stufe zu vervollständigen. Da ein Teil der Reformierungsreaktion bereits in der ersten Stufe stattfindet, kann die zweite Stufe entsprechend kleiner dimensioniert werden. Wenn der Reaktor so angeordnet ist, daß Katalysatormaterial aus der ersten Stufe in die zweite Stufe nachrutschen kann, kann dadurch einer alterungsbedingten Aktivitätsabnahme des Katalysatormaterials in der zweiten Stufe entgegengewirkt werden. Zudem kann das Katalysatormaterial der ersten Stufe als Filter wirken, was einen separaten Filter zum Ausfiltern von Schwebepartikeln oder Wasser- und Methanoltropfen überflüssig macht, ohne daß ein vorgeschalteter Verdampfer die Tropfenfreiheit des aus ihm austretenden Gasstroms gewährleisten muß.

Bei einem nach Anspruch 3 weitergebildeten Reaktor bleibt die zweite Stufe unbeheizt, während die erste Stufe beheizt wird und dazu einen Wärmeübertrageraufbau besitzt. Die unbeheizte zweite Stufe kann bei diesem Reaktor als sogenannte Shiftstufe wirken, in welcher der Anteil an Kohlenmonoxid im wasserstoffreichen Reformat aus der ersten Stufe durch Oxidation in Kohlendioxid verringert wird. Zudem kann die Wärme der exothermen Shiftreaktion die endotherme Methanolreformierung unterstützen.

In Weiterbildung des Reaktors mit beheizter erster und unbeheizter zweiter Stufe wird gemäß Anspruch 4 beim Reaktoraufbau das Volumenverhältnis der beiden Reaktorstufen als Funktion der für die Reformierungsreaktion in der ersten Stufe gewählten Temperatur eingestellt, und zwar wird das Volumen der zweiten Stufe im Verhältnis zu demjenigen der ersten Stufe umso größer gewählt, je höher die gewählte Reformierungsreaktionstemperatur in der ersten Stufe ist. Es zeigt sich, daß durch diese Optimierung von Reaktionstemperatur und Reaktoraufbau bei gegebenem Reformierungsumsatz ein minimales Gesamtvolumen für beide Reaktorstufen erzielbar ist, so daß sich der Reaktor dementsprechend klein bauen läßt.

Bei einem nach Anspruch 5 weitergebildeten Reaktor ist ein katalysatorfreier Gaseinlaßraum vor der ersten Stufe und/oder ein katalysatorfreier Gasauslaßraum hinter der zweiten Stufe vorgesehen. Diese Maßnahme verbessert das dynamische Verhalten des Reaktors, da sich dadurch der Druckabfall über den Reaktor verringern läßt und somit das "Aufpumpen" des Systems bei Lastwechseln reduziert wird.

Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden nachfolgend beschrieben. Hierbei zeigen:

Fig. 1 eine schematische Längsschnittansicht eines zweistufigen Reformierungsreaktors zur Wasserdampfpreformierung von Methanol mit unbeheizter erster und beheizter zweiter Stufe sowie einem durchgehenden Wärmeübertrageraufbau,

Fig. 2 eine schematische Längsschnittansicht eines zweistufigen Reformierungsreaktors zur Wasserdampfpreformierung von Methanol mit unbeheizter erster und beheizter zweiter Stufe und mit einem auf die zweite Stufe beschränkten Wärmeübertrageraufbau und

Fig. 3 eine schematische Längsschnittansicht eines zweistufigen Reformierungsreaktors zur Wasserdampfpreformierung von Methanol mit beheizter erster und unbeheizter zweiter Stufe sowie einem auf die erste Stufe beschränkten

Wärmeübertrageraufbau.

Der in Fig. 1 schematisch dargestellte Reformierungsreaktor zur Wasserdampfreformierung von Methanol beinhaltet ein Reaktorgehäuse 1, in welches ein zu reformierendes, von einem nicht gezeigten, vorgeschalteten Verdampfer kommendes Gasgemisch 2 über einen Einlaß 3 eingespeist wird. Das durch die Methanolreformierungsreaktion entstehende Reformat 4 verläßt das Reaktorgehäuse 1 über einen Auslaß 5, welcher auf der dem Einlaß 3 gegenüberliegenden Gehäuseseite angeordnet ist. In Gasströmungsrichtung sind im Reaktorgehäuse 1 nacheinander ein schmaler Gaseinlaßraum 6, eine erste, unbeheizte Reaktorstufe 7, eine zweite, beheizte Reaktorstufe 8 und ein schmaler Gasauslaßraum 9 vorgesehen.

Die erste und die zweite Reaktorstufe 7, 8 besitzen einen durchgehenden Wärmeübertrageraufbau, von dem jedoch nur der zur zweiten Stufe 8 gehörige Teil zur Beheizung dieser Stufe 8 genutzt wird. Die erste und die zweite Stufe 7, 8 grenzen auf Höhe einer in Fig. 1 gestrichelt gezeichneten Linie 10 aneinander an. Durch geeignete, nicht gezeigte Mittel, z. B. Einbringen einer thermisch isolierenden Zwischenplatte, ist dafür gesorgt, daß ein Heizmedium, welches durch Heizkanäle 11 des Wärmeübertrageraufbaus in der zweiten Reaktorstufe 8 zwecks Beheizung derselben hindurchgeleitet wird, nicht in den Bereich der ersten Stufe 7 gelangt, die folglich unbeheizt bleibt. Als aktive Reaktionsräume dienen Reaktionskanäle 12 des Wärmeübertrageraufbaus, die in der zweiten Stufe 8 in Wärmekontakt mit den Heizkanälen 11 stehen. Die Reaktionskanäle 12 erstrecken sich durchgehend zwischen dem Gaseinlaßraum 6 und dem Gasauslaßraum 9 und sind vollständig mit einer Schüttung 13 eines geeigneten Katalysatormaterials, z. B. eines Cu/ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Materials, befüllt. Der Gaseinlaßraum 6 und der Gasauslaßraum 9 bleiben hingegen frei von Katalysatormaterial.

Im Betrieb des Reaktors erfolgt in der ersten Stufe 7 eine teilweise Reformierung des über den Gaseinlaßraum 6 gleichmäßig in die Reaktionskanäle 12 eingeleiteten Gasgemischs. Im allgemeinen ist dieser Teilumsatz wegen der fehlenden Beheizung der ersten Stufe 7 deutlich geringer als der restliche Umsatz in der zweiten Stufe 8, die durch die Beheizung auf einer zur Durchführung der endothermen Methanolreformierungsreaktion optimalen Temperatur gehalten wird. Dennoch bewirkt der Teilumsatz in der ersten Stufe 7, daß die Wasser- und Methanol-Konzentration am Eintritt in die zweite Stufe 8 bereits verringert ist und dadurch die zweite Stufe 8 baulich entsprechend kleiner ausgelegt werden kann. Zudem verlangsamt sich die durch Kontakt mit Methanol und Wasser bedingte Alterung des Katalysatormaterials in der zweiten Stufe.

Die unbeheizte, erste Reaktorstufe 7 erfüllt außerdem eine Filterfunktion, indem sie Schwebepartikel sowie eventuelle Wasser- oder Methanoltropfen vor Erreichen der zweiten Reaktorstufe 8 ausfiltert. Ein Heißgasfilter vor dem Reaktor kann dadurch entfallen, und es muß für den vom Verdampfer kommenden Eduktgasstrom 2 keine Tropfenfreiheit gegeben sein, so daß sich der Verdampfer entsprechend einfacher bauen läßt. Das Eindringen solcher Tropfen in die zweite, den hauptsächlichsten Reformierungsumsatz bewirkende zweite Stufe 8 ist unerwünscht, da sie zu Schädigungen des dortigen, hochaktiven Katalysatormaterials führen können.

Der Reaktor ist beispielsweise für den kostengünstigen Einsatz in einem brennstoffzellenbetriebenen Kraftfahrzeug geeignet, um dort den für die Brennstoffzellen benötigten Wasserstoff aus flüssig mitgeführtem Methanol zu erzeugen. Wird der Reaktor vertikal oder schräg so in das Fahrzeug eingebaut, daß die erste Reaktorstufe 7 über der zweiten

Stufe 8 liegt, rutscht im Fall eines Schwunds an Katalysatormaterial in der zweiten Stufe 8 automatisch Katalysatormaterial aus der ersten Stufe 7 nach, d. h. die erste Stufe 7 wirkt als Katalysatorvorrat für die zweite Stufe 8. Die Nachlieferung von Katalysatormaterial kann bei andersartiger Reaktoreinbaulage gegebenenfalls auch durch geeignete Hilfsmittel erreicht werden, die das Katalysatormaterial der ersten Stufe 7 gegen dasjenige der zweiten Stufe 8 gedrückt halten. Auf diese Weise lassen sich Setzungserscheinungen der Katalysatorschüttung 12 in der zweiten Stufe 8, die z. B. durch Erschütterungen und Alterungserscheinungen bedingt sein können, automatisch kompensieren.

Eine weitere Funktion, welche die erste Reaktorstufe 7 erfüllt, besteht in der Dämpfung von Temperaturschwankungen des Eduktstroms 2, die bei Lastwechseln auftreten, wie sie beim Einsatz in Fahrzeugen typisch sind. Die unbeheizte erste Reaktorstufe 7 ist durch ihre Wärmekapazität und dadurch, daß sie den hindurchtretenden Gasstrom wegen des Teilumsatzes der endothermen Reformierungsreaktion abkühlt, in der Lage, diese Temperaturschwankungen weitgehend auszugleichen. Zu einem zufriedenstellenden dynamischen Verhalten des Reaktors im Betrieb auch bei merklichen Lastwechseln tragen zudem der Gaseinlaßraum 6 und der Gasauslaßraum 9 bei, die beide frei von Katalysatormaterial sind. Mit diesem Aufbau kann der Druckabfall für die durch den Reaktor geleitete Gasströmung verringert werden, was zu einem verminderten "Aufpumpen" des Systems bei Lastwechseln und damit zu einem verbesserten dynamischen Verhalten des Reaktors führt.

Der in Fig. 2 gezeigte Reaktor entspricht in seinem Aufbau weitgehend demjenigen von Fig. 1, wobei zur Verdeutlichung für funktionell gleiche Komponenten dieselben Bezugszeichen verwendet sind und insoweit auf die Beschreibung zu Fig. 1 verwiesen werden kann. Die einzig wesentliche Modifikation besteht darin, daß beim Reaktor von Fig. 2 nur die zweite Reaktorstufe 8 den Wärmeübertrageraufbau mit Heizkanälen 11' und Reaktionskanälen 12' besitzt, während eine erste, eintrittsseitige Reaktorstufe 7' ohne Wärmeübertragerstruktur vorgesehen ist, bei der das gesamte Volumen des betreffenden Abschnitts des Reaktorgehäuses 1 mit der Katalysatorschüttung befüllt ist und vom zugeführten Gasgemisch 2 durchströmt wird. Die damit einen einheitlichen, katalysatorbefüllten Hohlkörper bildende erste Reaktorstufe 7' ist durch eine thermisch isolierende Trennwand 10' von den Heizkanälen 11' der zweiten Reaktorstufe 8 getrennt, wobei die Reaktionskanäle 12' der zweiten Stufe 8 über entsprechend eingebrachte Öffnungen der Trennwand 10' mit der ersten Reaktorstufe 7' in Verbindung stehen.

Der Reaktor von Fig. 2 besitzt dieselben, speziell für mobile Anwendungen vorteilhaften Eigenschaften, wie sie oben zum Reaktor von Fig. 1 erläutert wurden, worauf verwiesen werden kann. Typische Betriebstemperaturen der zweiten, beheizten Reaktorstufe 8 zur Bewirkung der hauptsächlichsten Methanolreformierungsreaktion liegen zwischen etwa 280°C und etwa 350°C.

Der in Fig. 3 dargestellte Reaktor beinhaltet ein Reaktorgehäuse 14 mit einem schmalen Gaseinlaßraum 15, einer beheizten, ersten Reaktorstufe 16, einer unbeheizten, zweiten Reaktorstufe 17 und einem schmalen Gasauslaßraum 18, die in Gasströmungsrichtung hintereinanderliegend angeordnet sind. Ein zu reformierendes Methanol/Wasser-Gasgemisch 19 wird über einen seitlichen Einlaß 20 in den Gaseinlaßraum 15 eingeleitet und von dort in die erste Reaktorstufe 16 eingespeist. In dieser Stufe 16 findet der hauptsächlichste Reformierungsumsatz statt, wozu sie auf einer zur Durchführung der endothermen Methanolreformierungsreaktion geeigneten Temperatur gehalten wird, z. B. zwischen etwa 280°C und 350°C. Das in der ersten Stufe 16 weitest-

gehend vollständig reformierte Gasgemisch durchströmt dann die unbeheizte zweite Reaktorstufe 17, die dadurch als Shiftstufe wirkt, in welcher der Anteil von im reformierten Gas enthaltenem Kohlenmonoxid durch Umwandlung in Kohlendioxid verringert wird. Über einen seitlichen Auslaß 21 tritt dadurch ein Reformatgasstrom 22 aus dem Gasauslaßraum 18 aus, der weitestgehend aus Wasserstoff besteht und allenfalls noch einen sehr geringen Kohlenmonoxidanteil aufweist, wie dies z. B. zur Verwendung in Brennstoffzellen erwünscht ist.

Für die erste, beheizte Reaktorstufe 16 ist ein Wärmeübertrageraufbau gewählt, der Reaktionskanäle 23 und Heizkanäle 24 beinhaltet, wobei sich die Reaktionskanäle 23 zwischen dem Gaseinlaßraum 15 und der zweiten Reaktorstufe 17 erstrecken. Die Heizkanäle 24 bilden unter Verwendung geeigneter Umlenkleche 25 einen mäanderförmigen Strömungspfad durch die zweite Reaktorstufe 16 hindurch von einem Heizmediumeinlaß 31, der nahe des Gaseinlaßraums 15 in die erste Reaktorstufe 16 mündet, zu einem Heizmediumauslaß 27, der in der Nähe der zweiten Reaktorstufe 17 aus der ersten Stufe 16 ausmündet.

Die zweite Reaktorstufe 17 bildet hingegen einen einheitlichen Hohlraum, der gemeinsam mit den mit ihm in Verbindung stehenden Reaktionskanälen 23 der ersten Stufe 16 mit einer Katalysatorschüttung 26 befüllt ist. Eine zwischen der ersten Stufe 16 und der zweiten Stufe 17 vorgesehene, bei Bedarf thermisch isolierende Trennwand 28 besitzt entsprechende Öffnungen, welche die Verbindung zwischen den Reaktionskanälen 23 und dem Volumen der zweiten Stufe 17 herstellen, und sorgt im übrigen für eine Trennung der zweiten Stufe 17 gegenüber den Heizkanälen 24 der ersten Stufe 16. Zwei Katalysatorrückhaltegitter 29, 30 begrenzen die Katalysatorschüttung 26 auf die beiden Reaktorstufen 16, 17 und verhindern ein Austreten von Katalysatormaterial in den Gaseinlaßraum 15 und den Gasauslaßraum 18, wie dies analog auch bei den Reaktoren der Fig. 1 und 2 der Fall ist.

Die Gestaltung der zweiten Reaktorstufe 17 als einheitlicher, katalysatorbefüllter Hohlkörper ermöglicht es, dort bei gegebener Baulänge vergleichsweise viel Katalysatormaterial unterzubringen. Dies begünstigt die Reaktionskinetik, da für einen bestimmten Reaktionsumsatz bei den niedrigeren Temperaturen der zweiten Stufe 17 mehr Katalysatormaterial benötigt wird als bei höheren Temperaturen, wie sie z. B. in der ersten Stufe 16 gegeben sind. Die in der zweiten Stufe 17 stattfindende exotherme Shiftreaktion erzeugt Wärme, die zusammen mit dem reichlich vorhandenen Katalysatormaterial einen vollständigen Umsatz von ggf. in der ersten Stufe 16 noch nicht reformierten Gasanteilen innerhalb der zweiten Stufe 17 parallel zur Shiftreaktion sicherstellt. Durch ihre Shiftwirkung begünstigt die zweite Reaktorstufe 17 zudem die Erzielung einer gleichmäßig geringen Kohlenmonoxidkonzentration im Reformatgasstrom 22 über den gesamten Lastbereich hinweg.

Bei der Dimensionierung des Reaktors ist zum einen von Bedeutung, daß der Gaseinlaßraum 15 und der Gasauslaßraum 18 mit den oben erwähnten Vorteilen hinsichtlich des dynamischen Reaktorbetriebsverhaltens bei Lastwechseln vorgesehen sind und dabei nur so groß wie zur Bewirkung dieses Dynamikverhaltens erforderlich gestaltet sind, um das Bauvolumen des Reaktorgehäuses 14 möglichst gering zu halten. Des weiteren ist für einen möglichst kompakten Aufbau des Reaktors die Größe, d. h. das Volumen, der zweiten Reaktorstufe 17 auf diejenige der ersten Reaktorstufe 16 abhängig von der Betriebstemperatur in der ersten Stufe 16 abgestimmt, d. h. das Verhältnis des Volumens der ersten Stufe 17 zu demjenigen der zweiten Stufe 16 wird als Funktion der für die erste Stufe 16 beabsichtigten Betriebs-

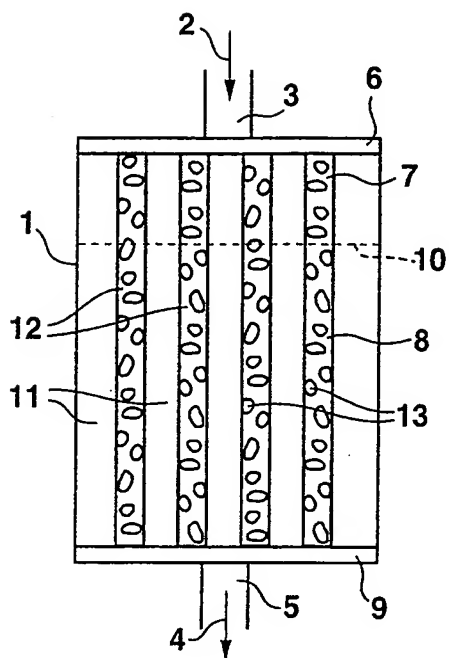
temperatur festgelegt. Beispielsweise beträgt das Volumen der zweiten Stufe 17 bei einer Betriebstemperatur der ersten Stufe 16 von ca. 280°C ungefähr 30% des Volumens der ersten Stufe 16. Mit höherer Temperatur wird das Volumen der zweiten Stufe 17 relativ zu demjenigen der ersten Stufe 16 erhöht. Durch diese optimale Abstimmung der Größen- und Temperaturverhältnisse zwischen der ersten Stufe und der zweiten Stufe 17 ergibt sich bei gegebenem Reformierungsumsatz ein geringerer Reaktorbauraumbedarf als bei davon abweichenden Reaktorstrukturen.

#### Patentansprüche

1. Reformierungsreaktor zur Wasserdampfpreformierung von Methanol, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Reaktor zweistufig mit einer ersten, eintrittsseitigen Reaktorstufe (7) und einer an diese in Gasströmungsrichtung direkt anschließenden zweiten, austrittsseitigen Reaktorstufe (8) ausgelegt ist, wobei die beiden Reaktorstufen in einem gemeinsamen Reaktorgehäuse (1) untergebracht und mit einer durchgehenden Katalysatorschüttung (13) befüllt sind und eine der beiden Reaktorstufen beheizt wird, während die andere Reaktorstufe unbeheizt bleibt.
2. Reformierungsreaktor nach Anspruch 1, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die erste Reaktorstufe (7, 7') unbeheizt bleibt und die zweite Reaktorstufe (8) einen Wärmeübertrageraufbau besitzt und beheizt wird.
3. Reformierungsreaktor nach Anspruch 1, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Reaktorstufe (17) unbeheizt bleibt und die erste Reaktorstufe (16) beheizt wird und einen Wärmeübertrageraufbau besitzt.
4. Reformierungsreaktor nach Anspruch 3, weiter dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis des Volumens der zweiten Reaktorstufe (17) zu demjenigen der ersten Reaktorstufe (16) in Abhängigkeit von der vorgebbaren Betriebstemperatur in der ersten Reaktorstufe (16) mit wachsender Betriebstemperatur größer werdend festgelegt wird.
5. Reformierungsreaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, weiter dadurch gekennzeichnet, daß den beiden Reaktorstufen (7, 8) in dem gemeinsamen Reaktorgehäuse (1) ein katalysatorfreier Gaseinlaßraum (6) vorgeschaltet und/oder ein katalysatorfreier Gasauslaßraum (9) nachgeschaltet ist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

**Fig. 1**



**Fig. 2**

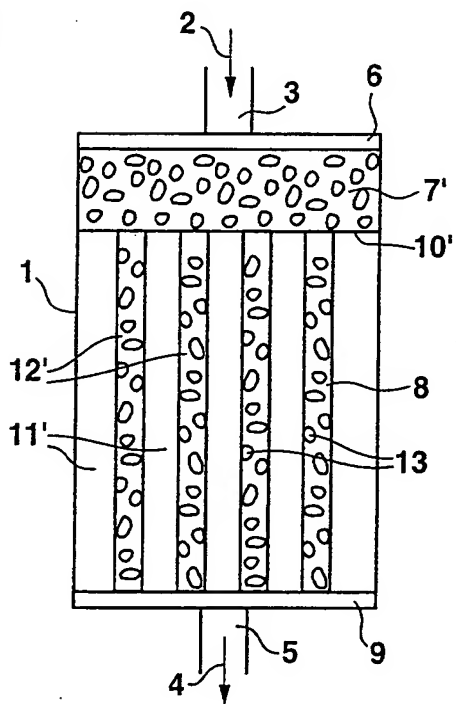


Fig. 3

